



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA

ANGELA MARINA CANTERLE

**A INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO BENTÔNICA NAS  
INTERAÇÕES E DIVERSIDADE DE PEIXES RECIFAIS NA ILHA  
DE PRÍNCIPE, GOLFO DA GUINÉ, ÁFRICA**

Florianópolis  
2017

ANGELA MARINA CANTERLE

**A INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO BENTÔNICA NAS  
INTERAÇÕES E DIVERSIDADE DE PEIXES RECIFAIS NA ILHA  
DE PRÍNCIPE, GOLFO DA GUINÉ, ÁFRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Curso de Ciências Biológicas da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para obtenção do grau de  
Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Sergio R. Floeter  
Co-orientador: MSc. Lucas Nunes Teixeira

Florianópolis  
2017

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da  
UFSC.**

Canterle, Angela Marina

A influência da composição bentônica nas interações e diversidade de peixes recifais na Ilha de Príncipe, Golfo da Guiné, África / Angela Marina Canterle ; orientador, Sergio Ricardo Floeter, coorientador, Lucas Nunes Teixeira, 2017.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Ecologia. I. Floeter, Sergio Ricardo. II. Nunes Teixeira, Lucas. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Angela Marina Canterle

**A INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO BENTÔNICA NAS  
INTERAÇÕES E DIVERSIDADE DE PEIXES RECIFAIS NA ILHA  
DE PRÍNCIPE, GOLFO DA GUINÉ, ÁFRICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado à disciplina BIO7016 – Trabalho de Conclusão de Curso II, para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas, junto ao Centro de Ciências Biológicas da UFSC.

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Andrea Marrero  
Coordenadora do Curso

**Orientadores:**

---

Prof. Dr. Sergio Ricardo Floeter  
Orientador  
ECZ/UFSC

---

M.Sc. Lucas Nunes Teixeira  
Co-orientador  
PPG Ecologia/UFSC

**Banca Examinadora:**

---

Prof. <sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Malva Isabel Medina  
Hernández  
ECZ/UFSC

---

M.Sc. Hugulay Albuquerque  
Maia  
PPG Ecologia/UFSC

---

Prof. Dr. Alberto Lindner  
Membro suplente - ECZ/UFSC

Florianópolis, 13 de novembro de 2017.



Este trabalho é dedicado aos meus pais,  
Nilsa e João, que eu sei que fizeram o  
possível e o impossível para que eu  
pudesse chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer...

Aos meus pais, Nilsa e João, por tudo que eles fizeram pra me ajudar a chegar aqui. Só eu sei o quanto vocês me incentivaram a vida toda a ir atrás dos meus sonhos. Quando eu tinha 17 anos e estava indo embora da casa deles, minha mãe me disse “filha, o mundo é teu”. Eu acreditei e acredito até hoje. E pai, todas as vezes que você ficou apontando insetos e classificando “coleóptera!” “hemíptera!” no nosso pátio você me influenciou um pouquinho mais a escolher essa profissão, que com certeza é a certa pra mim. Em agradecimento, dedico esse trabalho a vocês!

Ao meu orientador, Sergio Floeter, por ter me acolhido no laboratório e me proporcionado a oportunidade de aprender tanto durante todos esses anos. Apesar de morar bem longe do mar, meu sonho de infância era ser bióloga marinha, e essa porta que você abriu pra mim com certeza foi um passo essencial pra realização disso. Ao meu co-orientador, Lucas, por ter tido tanta paciência e dedicado tempo a me ajudar com esse trabalho, mesmo estando no meio de uma expedição de 3 meses no meio do atlântico! Ao Hugulay, pelas figuras dos peixinhos, mapas, referências, e pela companhia no laboratório nos longos finais de semana de trabalho. E aos amigos do LBMM: Gabí, Alana, Luisa, Kelly, Floyd, Firula, Juan.. Pela convivência no dia a dia e nos lab meetings, além dos cafezinhos.

A todos os professores que tive e terei na graduação, que com certeza de alguma forma só tiveram a acrescentar. E também aos meus professores de biologia dos tempos de colégio, Junior e Liciane, pela influência sem tamanho.

Ao meu companheiro, Adilson, por ter ouvido todas as minhas alegrias e os meus desabafos... E principalmente por me ouvir com toda a paciência do mundo quando eu dispero a falar sem parar sobre assuntos biológicos/ecológicos/marinhos! A calma que nós somos juntos me trouxe a força que precisei nesses momentos.

A banca: Malva, Hugulay e Alberto, por dedicarem tempo pra à leitura e contribuições ao meu trabalho. A todos os meus amigos e amigas de Florianópolis, de Beltrão, ou espalhados pelo Brasil. Aos professores de yoga que passaram pela minha vida, a minha bike, livros, músicas, corridas... e a todas as outras pequenas felicidades certas que tornam a minha rotina mais leve e deixam tudo mais simples e feliz.

Namastê e boa leitura!

“Sua tarefa é descobrir o seu trabalho e então,  
com todo o coração, dedicar-se a ele.”

Buda



## RESUMO

Diferenciados por suas características físicas e por fatores bióticos, habitats são definidos como o ambiente físico no qual uma determinada espécie vive. Os organismos possuem uma relação importante com o habitat onde vivem, pois dele é proveniente o alimento, refúgio contra predadores e local para reprodução e desenvolvimento. Devido a influência dos seus componentes nas comunidades, o habitat é considerado um dos fatores determinantes da diversidade biológica, do comportamento e distribuição dos indivíduos. Nos ambientes recifais, a composição bentônica tem sido proposta como um importante elemento para compreender a estrutura e funcionamento das comunidades marinhas. A sua composição e distinta fauna associada em diferentes locais podem afetar a ocorrência e intensidade de interações biológicas dos peixes recifais, como interações tróficas e agonísticas. Além das interações biológicas, as características do habitat também podem ser mecanismos biológicos que causam e mantêm a diversidade de espécies, pois a quantidade de recursos proporcionados por diferentes elementos do substrato pode divergir e atrair ou afastar diferentes espécies. Entender o funcionamento dos ecossistemas é necessário para reconhecer a dinâmica das comunidades recifais e evitar a perda de funções ecossistêmicas indispensáveis para a manutenção da biodiversidade. No entanto, aspectos dessa funcionalidade ainda são desconhecidos devido à falta de dados, principalmente para ambientes isolados como ilhas oceânicas. Dada esta lacuna de conhecimento, esse trabalho visa a ampliação dos estudos sobre a influência da composição bentônica do substrato nas interações biológicas e diversidade de espécies de peixes recifais na Ilha de Príncipe. Para isso, foram realizadas filmagens remotas subaquáticas para registrar as espécies presentes, interações tróficas e agonísticas dos peixes. Para estimar a influência da comunidade bentônica nas interações alimentares foi calculada a pressão alimentar (número de mordidas  $\times$  biomassa / área  $\times$  tempo). Para a diferenciação dos microhabitats foi feita a estimativa visual da porcentagem de cobertura por grandes grupos bentônicos distintos. Houve variação nas interações biológicas entre os diferentes microhabitats e a cobertura bentônica explicou 21% das interações tróficas e 24% das interações agonísticas dos peixes. Os peixes pertencentes ao grupo trófico dos herbívoros raspadores (*e.g. Sparisoma choati*) se destacaram por seus altos valores de pressão alimentar, assim como os peixes pertencentes ao grupo dos herbívoros territoriais (*e.g. Stegastes imbricatus*) se mostraram centrais nas redes de interações agonísticas nos diferentes microhabitats. Nesse trabalho, apesar

de apresentar influência, percebemos que a composição bentônica parece não ser o único fator influenciando nas interações tróficas e agonísticas. Uma composição de outros fatores, como abundância de indivíduos, comportamentos territoriais e hábito de forrageio também podem ter influência nessas interações. Além disso, fatores abióticos também podem ter um papel importante moldando a estrutura das interações, como por exemplo a exposição a ondas e complexidade topográfica. Além de sua influência nas interações, foi observado que a similaridade na composição de espécies nos diferentes habitats segue o padrão observado para a porcentagem da cobertura bentônica, indicando que esta parece ser também um dos fatores influentes na presença e na diversidade de espécies nos diferentes microhabitats.

**Palavras-chave:** comunidade bentônica; interações agonísticas; interações tróficas; Golfo da Guiné.

## ABSTRACT

Distinguished by its physical characteristics and by biotic factors, a habitat is defined as the physical environment in which a particular species lives. Organisms have an important relationship with the environment they inhabit, because it is their source of food, refuge against predators and reproduction/development area. Due to the influence of its components on communities, habitats are considered determinants of biological diversity, behavior and distribution of individuals. In reef environments, benthic composition have been proposed to understand the structure and functioning of marine communities. Its composition and distinct associated fauna at different sites may affect the occurrence and intensity of biological interactions, such as trophic and agonistic interactions. In addition to biological interactions, habitat characteristics may also be biological mechanisms that cause and maintain species diversity, since the amount of resources provided by different substrate elements may diverge and attract different species. Understanding the functioning of ecosystems is necessary to recognize the dynamics of the reef communities and avoid the loss of ecosystem functions that are indispensable for the maintenance of biodiversity. However, aspects of this functionality are still unknown due to lack of data, especially for isolated or difficult-to-access environments such as oceanic islands, unique systems for ecological studies. Given this knowledge gap, this study aims to expand the knowledge about the influence of substrate benthic composition on the biological interactions and diversity of reef fish species in Principe Island. For that, underwater remote videos were conducted in reef areas in which all the species present, trophic and agonistic interactions were recorded. To estimate the influence of the benthic community on feeding behavior, feeding pressure (number of bites  $\times$  biomass / area  $\times$  time) was calculated. For the differentiation in microhabitats, we made a visual estimation of the percentage cover of different large benthic groups. The biological interactions varied between different microhabitats and the benthic cover explained 21% of the trophic interactions and 24% of the agonistic interactions of fishes. Fishes belonging to the scraper herbivores trophic group (e.g. *Sparisoma choati*) were highlighted for their high feeding pressure values, while the fishes belonging to the territorial herbivores trophic group (e.g. *Stegastes imbricatus*) were central in the agonistic interaction networks in different microhabitats. In this study, although it exhibited an influence, benthic composition seems not to be the only factor influencing the trophic and agonistic interactions. A composition of other factors, such as abundance of

individuals, territorial behaviors and foraging habits may also influence these interactions. In addition, abiotic factors may also play an important role in shaping the structure of interactions, such as wave exposure and topographic complexity. Besides its influence on interactions, it was also observed that the similarity of species composition in different microhabitats follow the pattern observed for the percentage of benthic cover, indicating that it can also be the one of the influential factors in the presence and diversity of species in different microhabitats.

**Key words:** benthic community; agonistic interactions; trophic interactions; Gulf of Guinea.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização da Ilha de Príncipe na A) Costa africana B) Golfo da Guiné. Pontos azuis em “C” representam os locais amostrados na ilha. BAN: Praia Banana; BOM: Ilhéu Bombom; GAL: Pedra Galé; LAP: Praia Lapa; MOS: Mosteiro. .... 23
- Figura 2:** Método de Filmagem Remota: à esquerda, a câmera lastreada ao fundo no local de estudo. À direita, o mergulhador delimitando a área de 2 metros quadrados. .... 24
- Figura 3:** A esquerda, análise de agrupamento com distância euclidiana, indicando a divisão dos microhabitats de acordo com a porcentagem de composição bentônica. A direita, gráfico boxplot e dispersão de pontos (círculos representam amostras) indicando a porcentagem de cobertura dos grupos bentônicos (eixo y) em cada microhabitat. O eixo X representa os grupos bentônicos. .... 30
- Figura 4:** Gráfico de dispersão de pontos indicando a pressão alimentar (PA) exercida por diferentes espécies de peixes e seus respectivos grupos funcionais sobre a comunidade bentônica nos cinco microhabitats. Eixo Y: pressão alimentar; Eixo X: espécies de peixes. Círculos representam amostras, losangos representam a média da pressão alimentar no microhabitat e barras laranjas representam o erro padrão. Espécies com média maior que 0,5 estão representadas por figuras. Os nomes científicos das espécies podem ser encontrados na lista de abreviaturas e siglas. .... 32
- Figura 5:** Redes de interações agonísticas dos cinco microhabitats. As cores indicam os grupos funcionais, e a espessura das linhas a intensidade das interações. Os nomes científicos das espécies podem ser encontrados na lista de abreviaturas e siglas. .... 34
- Figura 6:** Análise de correspondência canônica entre a comunidade bentônica e as interações realizadas pelos peixes (pressão alimentar e agonísticas). Números indicam amostras e cores indicam os microhabitats (Rosa - turf, Azul - areia/rocha, Verde - coral, Roxo -

esponja, Amarelo – alga calcária). Os nomes científicos das espécies podem ser encontrados na lista de abreviaturas e siglas. ....35

**Figura 7:** Análise de agrupamento gerada a partir dos valores de dissimilaridade apresentados. ....36

**Figura 8:** No gráfico A, boxplot da pressão alimentar média nos microhabitats. Cada ponto representa a soma da pressão alimentar dos indivíduos. Os losangos representam a média e a barra pontilhada o erro padrão da média. No gráfico B, Boxplot gerado a partir da média das mil reamostragens. ....53

**Figura 9:** No gráfico A, média das interações agonísticas nos microhabitats. Cada ponto representa a soma das interações agonísticas dos indivíduos. Os losangos representam a média e a barra pontilhada o erro padrão da média. No gráfico B, Boxplot gerado a partir da média das mil reamostragens. ....53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação dos grupos tróficos dos peixes baseado na dieta e comportamento alimentar das espécies. A esquerda, o grupo trófico. A direita, dieta dos indivíduos do respectivo grupo. Adaptado de Ferreira et al. 2004 e Mouillot et al. 2014.....	25
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABU HOE - *Abudefduf hoefleri*  
ABU TAU - *Abudefduf taurus*  
ACA MON - *Acanthurus monroviae*  
AUL STR - *Aulostomus strigosus*  
BAL PUN - *Balistes punctatus*  
BOD PUL - *Bodianus pulchellus*  
BOD SPE - *Bodianus speciosus*  
CAN PUL - *Cantherhines pullus*  
CAN SUP - *Canthigaster supramacula*  
CEP NIG - *Cephalopholis nigri*  
CEP TAE - *Cephalopholis taeniops*  
CHA ROB - *Chaetodon robustus*  
CHR MUL - *Chromis multilineata*  
CIR ATL - *Cirrhitus atlanticus*  
COR ATL - *Coris atlantica*  
GNA THO - *Gnatholepis thompsoni*  
HOL ADS - *Holocentrus adscensionis*  
HOL AFR - *Holacanthus africanus*  
KYP VAI - *Kyphosus vaigiensis*  
LET ATL - *Lethrinus atlanticus*  
LUT FUL - *Lutjanus fulgens*  
LUT SP - *Lutjanus sp.*  
MIC FRO - *Microspathodon frontatus*  
MUL MAR - *Mulloidichthys martinicus*  
MYR JAC - *Myripristis jacobus*  
OPH SP - *Ophioblennius sp.*  
PAR FUR - *Paranthias furcifer*  
PRI BIA - *Prionurus biafraensis*  
RYP SAP - *Rypticus saponaceus*  
SCA HOE - *Scarus hoefleri*  
SER PUL - *Serranus pulcher*  
SPA CHO - *Sparisoma choati*  
STE IMB - *Stegastes imbricatus*  
THA NEW - *Thalassoma newtoni*  
WHE MAL - *Wheelerigobius maltzani*



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	18
2 OBJETIVOS .....	22
2.1 Objetivo geral .....	22
2.2 Objetivos específicos .....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1 Área de Estudo .....	23
3.2 Coleta de dados .....	24
3.3 Análises de dados .....	26
4 RESULTADOS .....	29
4.1 Cobertura Bentônica .....	29
4.2 Pressão alimentar dos peixes sobre o bentos .....	30
4.3 Interações agonísticas .....	33
4.4 Influência do habitat nas interações alimentares e agonísticas .....	35
4.5 Diversidade de espécies .....	36
4.6 Média das mil reamostragens .....	36
5 DISCUSSÃO .....	37
5.1 Pressão alimentar dos peixes sobre o bentos .....	37
5.2 Interações agonísticas .....	39
5.3 Influência do habitat nas interações alimentares e agonísticas .....	41
5.4 Diversidade de espécies .....	41
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	43
7 REFERÊNCIAS .....	44

# 1 INTRODUÇÃO

Na ecologia, um habitat é definido como o ambiente físico no qual uma determinada espécie vive, seja ela uma planta, animal, ou outro tipo de organismo. São distinguidos por características físicas, como o substrato, intervalo de temperatura e intensidade da luz, bem como por fatores bióticos, como a disponibilidade de recursos alimentares e a presença ou ausência de predadores (Clements et al. 1939). Além disso, frequentemente a forma predominante de vida vegetal ou animal é utilizada para sua diferenciação (Ricklefs & Relyea 2016). Sabemos, por exemplo, que peixes do gênero *Amphiprion*, popularmente conhecidos como peixes-palhaço ou peixes-anêmona, habitam anêmonas que se situam em águas rasas no Indo-Pacífico tropical, tipicamente próximos a recifes de coral (Dunn 1981). Portanto, esses peixes possuem como habitat essas anêmonas, encontrando nelas locais que possuem condições apropriadas para sua sobrevivência.

Os organismos possuem uma relação essencial com o ambiente onde vivem, pois dele é proveniente o alimento, refúgio contra predadores e local para reprodução e desenvolvimento (Ricklefs & Relyea 2016). Devido a influência dos seus componentes nas comunidades, o habitat é considerado um dos fatores determinantes da diversidade biológica e do comportamento e distribuição dos indivíduos (Macarthur & Macarthur 1961; Valdés-Muñoz & Mocheck 2001; Sabater & Tofaeono 2007). Nos ambientes recifais, alguns elementos do habitat têm sido propostos para compreender a estrutura e funcionamento das comunidades marinhas. Como exemplos podemos citar topografia/rugosidade (Friedlander et al. 2003; Wilson et al. 2007), exposição às ondas (Floeter et al. 2007) e a composição bentônica (Ferreira et al. 2001; Gratwicke & Speight 2005). Este último fator, além de possuir papel estruturador fundamental no ambiente recifal, tem uma especial ligação com a ictiofauna. A sua composição e distinta fauna associada em diferentes locais, por exemplo, podem facilitar a ocorrência de interações biológicas e/ou oferecerem refúgio contra predadores (Coni et al. 2012).

No ambiente marinho, os peixes recifais estão envolvidos em uma grande variedade de interações biológicas. Essas interações são importantes mecanismos na estruturação das assembleias a nível local,

atuando na distribuição e abundância das espécies (Stachowicz 2001). Um exemplo é a interação trófica entre os peixes e o bentos, do qual diversos organismos são importantes recursos alimentares utilizados pelos peixes. Um dos principais componentes entre esses organismos bentônicos tanto nos recifes do Pacífico (Goatley & Bellwood 2011) quanto do Atlântico (Figueiredo et al. 2008) é a matriz de algas epilíticas (turf), que compreende a principal fonte de alimento de muitos peixes herbívoros e detritívoros (Ferreira & Gonçalves 2006; Bonaldo & Bellwood 2008). Sua ampla presença nos recifes sugere que sua comunidade de cripto invertebrados provê um significativo recurso alimentar para níveis tróficos maiores, sendo um atrativo para os peixes (Enochs & Manzello 2012). Além disso, podem ser observados exemplos de relações positivas entre a presença de espécies de peixes coralívoros e cobertura de coral viva (*e.g.* Bell & Galzin 1984) e de peixes planctívoros e a abundância de zooplâncton (*e.g.* Hammer et al. 1988), reforçando a importância do ambiente para a estruturação das comunidades.

Outro tipo de interação biológica que se destaca é a interação agonística (peixe-peixe). A concorrência por alimento, parceiros sexuais, abrigo, espaço ou apenas defesa territorial podem ser motivos que instigam essas interações (Bonin et al. 2015). Características próprias das espécies e particularidades externas do meio podem afetar a ocorrência e a intensidade de interações agonísticas em uma comunidade, apesar de sua causa exata ser de difícil distinção nos estudos de campo (Nunes 2016). Dentre essas características, podemos destacar as relativas ao habitat (Bergman & Moore 2003; Brown & Lawson 2010). Por exemplo, habitats com estruturas mais complexas tridimensionalmente, como corais, podem ser utilizados pelos peixes como refúgio para evitar predação, e também como um local de forrageio (Coull & Wells 1983; Smith et al. 2014).

Além das interações biológicas, as características do habitat, como a composição bentônica, também podem ser mecanismos biológicos que causam e mantêm a diversidade de espécies (Shmida & Wilson 1985; Downes et al. 1998). Em ambientes recifais, a maioria dos peixes é dependente da tridimensionalidade do habitat para abrigo, bem como do substrato para alimentação. Pode ser esperado, então, que a natureza do substrato irá influenciar a composição e a diversidade de espécies de peixes na área, pois a quantidade de recursos proporcionados por diferentes elementos do substrato, como potencial abrigo contra predadores e a superfície da área disponível para a

ocupação por algas e invertebrados, pode divergir e atrair/afastar diferentes espécies (Luckhurst & Luckhurst 1978). Vários autores já demonstraram uma associação da diversidade de peixes recifais com diferenças no habitat (*e.g.* Luckhurst & Luckhurst 1978; Carpenter et al. 1981; Roberts & Ormond 1987; Friedlander & Parrish 1998).

Entender o funcionamento dos ecossistemas é necessário para reconhecer a dinâmica espaço-temporal das comunidades recifais e evitar a perda de serviços ecossistêmicos indispensáveis para a manutenção da biodiversidade (Ricklefs 1987; Bellwood & Hughes 2001). No entanto, aspectos dessa funcionalidade ainda são desconhecidos devido à falta de dados (Rocha 2006), principalmente para ambientes isolados ou de difícil acesso como ilhas oceânicas. Essas ilhas são caracterizadas por serem ambientes geograficamente isolados de áreas continentais, formados por intensa atividade vulcânica ou convergência de placas tectônicas (Gillespie 2007), e geralmente apresentam uma baixa riqueza de espécies e altas taxas de endemismo quando comparados a áreas costeiras (Floeter et al. 2008). Tais características fazem desses ambientes sistemas únicos para estudar mecanismos ecológicos locais e evolutivos (Rominger et al. 2016).

Dentre as ilhas oceânicas encontradas no oceano Atlântico estão as ilhas de São Tomé e Príncipe, localizadas no Golfo da Guiné, que constituem um *hotspot* de biodiversidade marinha (Roberts et al. 2002), porém são pouco estudadas quando comparadas a outras regiões biogeográficas marinhas como Caribe e Brasil. Os primeiros trabalhos sobre organismos marinhos nessas ilhas tiveram início apenas por volta de 1890 pelo pioneiro Balthazar Osório, com enfoque em crustáceos. Contudo, esse estudioso também recebia exemplares de peixes, o que possibilitou o registro de 124 espécies de peixes distribuídas em 59 famílias. Atualmente, existem trabalhos mais recentes sobre a diversidade de espécies de peixes do local (*i.e.* Wirtz et al. 2007), porém ainda carecem de estudos sobre a ecologia e funcionamento do ambiente recifal nessas ilhas.

Dada a importância em se estudar ambientes recifais em ilhas oceânicas, esse trabalho visa a ampliação do conhecimento sobre o funcionamento de um ecossistema marinho em um local ainda pouco estudado. Esse conhecimento pode ter aplicações práticas em longo prazo, como por exemplo, auxiliar decisões na delimitação de áreas de preservação ambiental, nas quais as estratégias de manejo possam incluir processos ecológicos críticos e ambientes com condições

abióticas diversas (Bellwood et al. 2004; McClanahan & Karnauskas 2011).

Por fim, aponto como hipóteses do presente estudo que habitats que dispõem predominância de elementos diferentes em sua composição bentônica apresentarão diferenças

- a) Na estrutura das interações tróficas: como peixes recifais utilizam uma grande quantidade de tempo forrageando (Fulton & Bellwood 2002), é esperado que a composição do substrato interceda respostas comportamentais, devido às preferências dos peixes. Por exemplo, peixes herbívoros e detritívoros apresentarão uma intensidade maior de interações tróficas em substratos dominados por elementos associados à sua dieta, como a matriz de alga epilítica (turf).
- b) Na estrutura das interações agonísticas: os peixes presentes nos substratos dominados por elementos que possibilitam maior tridimensionalidade, como por exemplo corais, terão menor intensidade de interações agonísticas pela maior possibilidade de refúgio em tocas.
- c) Na composição de espécies presentes: a presença ou ausência de espécies de peixes será desconforme em locais com substratos diferentes, pois os recursos alimentares disponíveis e a quantidade de locais para refúgio é dessemelhante.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência da composição da comunidade bentônica na diversidade de espécies e nas interações dos peixes recifais da Ilha de Príncipe.

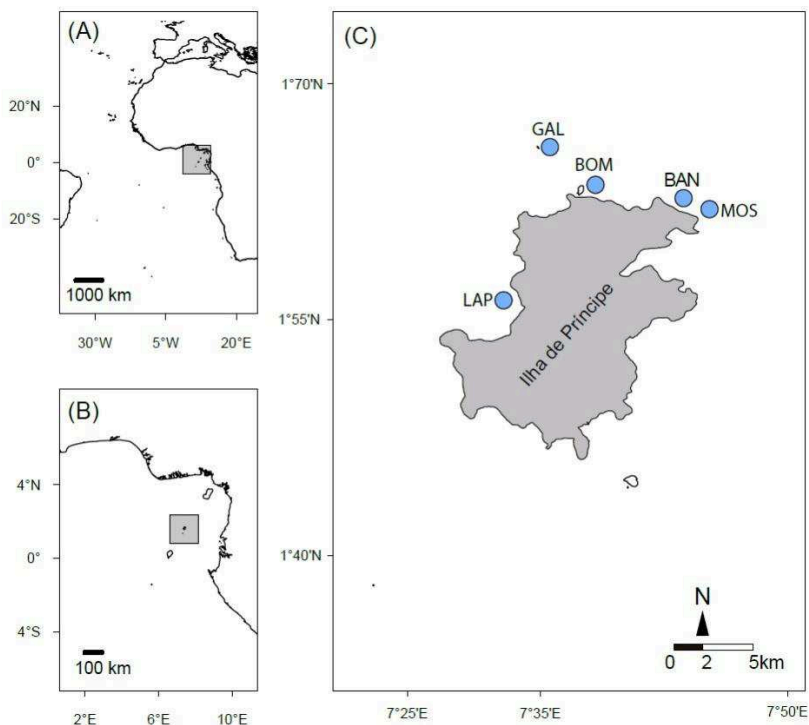
### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar as espécies de peixes recifais presentes nos vídeos subaquáticos na Ilha Príncipe;
- Mensurar a porcentagem de cobertura de diferentes elementos bentônicos no substrato em cada amostra;
- Quantificar e caracterizar as interações alimentares (peixe-comunidade bentônica) e agonísticas (peixe-peixe);

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área de Estudo

Foram realizadas amostragens em cinco locais na Ilha de Príncipe (**Figura 1.C**) entre os dias 15 e 24 de janeiro de 2016, no período diurno (0900 – 1400h). Situada no Golfo da Guiné, a Ilha de Príncipe (1° 37' N, 7° 24' L) pertence ao arquipélago de São Tomé e Príncipe, que é constituído por duas ilhas principais, ambas pertencentes à cadeia vulcânica dos Camarões, no Atlântico Norte (**Figura 1.A e 1.B**). A ilha tem idade estimada em 31 milhões de anos e uma área de 142km<sup>2</sup>. A área recifal da ilha é composta por costões rochosos e a água apresenta temperatura média de 29°C.



**Figura 1:** Localização da Ilha de Príncipe na A) Costa africana B) Golfo da Guiné. Pontos azuis em “C” representam os locais amostrados na ilha. BAN: Praia Banana; BOM: Ilhéu Bombom; GAL: Pedra Galé; LAP: Praia Lapa; MOS: Mosteiro.

## 3.2 Coleta de dados

### Filmagem Remota Subaquática

Nos cinco locais foram coletados dados de riqueza e interações ecológicas através de filmagens remotas subaquáticas (Longo et al. 2014). Este método consiste no posicionamento de uma câmera (GoPro) lastreada, voltada para uma área recifal de 2m<sup>2</sup>, previamente delimitada por um mergulhador com uso de trena (**Figura 2**). Após o início das filmagens o mergulhador se afasta da área focal a uma distância de pelo menos 10 metros. Cada filmagem (amostra) tem duração de aproximadamente 15 minutos, sendo que apenas os 10 minutos centrais contínuos de cada vídeo são analisados em laboratório, já que os minutos iniciais e finais são descartados a fim de minimizar o efeito da presença do mergulhador no comportamento dos peixes devido ao posicionamento e retirada da câmera.



**Figura 2:** Método de Filmagem Remota: à esquerda, a câmera lastreada ao fundo no local de estudo. À direita, o mergulhador delimitando a área de 2 metros quadrados.

No total foram geradas 49 filmagens, posteriormente analisadas em laboratório. De cada uma delas foram extraídos dados de riqueza, número de mordidas desempenhadas por cada indivíduo de peixe no substrato bentônico (peixe-bentos); e interações agonísticas (peixe-peixe), através da contagem do número de eventos de perseguição entre pares de indivíduos. Apenas a diversidade e interações verificadas dentro da área amostral (2m<sup>2</sup>) foram contabilizadas. Na análise das filmagens, as espécies foram identificadas, agrupadas em categorias



funcionais, de acordo com literatura (**Tabela 1**) (adaptado de Ferreira et al. 2004, Mouillot et al. 2014), e tiveram seu comprimento total (cm) estimado visualmente. Para tanto, foram utilizados softwares de leitura de vídeos (Windows Media Player, Microsoft ©) e de organização de dados (Microsoft Excel, Microsoft ©).

**Tabela 1:** Classificação dos grupos tróficos dos peixes baseado na dieta e comportamento alimentar das espécies. A esquerda, o grupo trófico. A direita, dieta dos indivíduos do respectivo grupo. Adaptado de Ferreira et al. 2004 e Mouillot et al. 2014.

Grupo trófico	Hábito alimentar
Herbívoros raspadores	Macroalga e detritos
Herbívoros territoriais	Algas cultivadas em um território defendido
Herbívoros podadores	Algas e gramas marinhas
Detritívoros	Algas filamentosas e matéria orgânica indefinida
Planctívoros	Macro e micro zooplâncton
Onívoros	Uma variedade de organismos de origem animal e vegetal
Predadores de invertebrados sésseis	Invertebrados sésseis associados ao substrato, como cnidários, hidrozoários, briozoários, acídias e esponjas
Predadores de invertebrados móveis	Invertebrados móveis associados ao substrato, como crustáceos e moluscos
Carnívoros	Uma variedade de organismos móveis no bentos e também outros peixes

**Estimativa da cobertura bentônica:** Dados da porcentagem de cobertura do substrato foram obtidos a partir de imagens do substrato retiradas de um frame do vídeo. Através dessa imagem foi feita a estimativa visual da porcentagem de cobertura pelos grandes grupos

bentônicos: matriz de algas epilíticas (turf), macroalga calcária (CCA), coral, gorgônias, areia/rocha e esponja.

**Interações alimentares e agonísticas:** Foram consideradas como mordidas qualquer investida do indivíduo sobre o substrato com a mandíbula aberta com posterior fechamento da boca, mesmo sem ocorrer a ingestão (Longo et al. 2014). Para determinar a intensidade da interação alimentar que cada espécie exerce sobre a comunidade bentônica foi calculada a Pressão Alimentar (PA) seguindo a equação abaixo:

$$(1) PA = \frac{\text{Biomassa} * \text{Número de mordidas}}{10 \text{ minutos} * 2m^2}$$

Para calcular a biomassa individual foi utilizada a equação:  $B = a (CT.FC)^b$ , onde (a) e (b) são parâmetros da relação comprimento-peso de cada espécie. (CT) representa o comprimento total do indivíduo estimado em centímetros a partir dos vídeos e (FC) é um fator de correção entre o comprimento total e comprimento padrão (Froese & Pauly 2013).

Foram consideradas como interações agonísticas eventos de perseguição onde um peixe avança rapidamente sobre outro com o consequente escape, sem a intenção de predação (Nunes 2016). Essas interações podem ocorrer por vários motivos, como territorialidade (Gerking 1959) ou competição por recursos como comida e abrigo (Bonin et al. 2015). Durante as análises, foram quantificados o número de perseguições e as espécies envolvidas registradas.

### 3.3 Análises de dados

#### **Cobertura bentônica:**

Através de uma análise de agrupamento (cluster) gerada a partir da distância euclidiana quadrada, as amostras (vídeos) foram classificadas em microhabitats de acordo com a similaridade na composição bentônica. A partir desses microhabitats foram fundamentadas as análises posteriores.

### **Pressão alimentar dos peixes e interações agonísticas:**

Para visualizar a pressão alimentar dos peixes sobre o bentos, foram gerados gráficos de dispersão de pontos com as espécies que apresentaram interações alimentares e seus respectivos valores de pressão alimentar média em cada microhabitat.

Para melhor visualização das interações agonísticas, redes agonísticas quantitativas para cada microhabitat foram construídas a partir de matrizes de pares de espécies que interagiram nas filmagens.

### **Influência do habitat nas interações alimentares e agonísticas:**

Para testar se houve influência da comunidade bentônica na interação alimentar dos peixes sobre o bentos utilizou-se uma Análise de Correspondência Canônica (CCA), seguidas de análises de variância (ANOVA) para cada CCA.

### **Diversidade de espécies:**

A diversidade foi avaliada através do índice de similaridade de Sorensen-Dice, que é um coeficiente binário utilizado para comparar qualitativamente a semelhança de espécies entre comunidades (Wolda 1981). Os valores encontrados se enquadram na escala de 0 a 1, assim, quanto mais próximo de 1 maior será a similaridade. A análise do coeficiente de Sorensen-Dice (*ISS*) foi feita através da equação:

$$(2) \text{ ISS} = \frac{(2*c)}{(S1 + S2)}$$

onde, ISS: Índice de Similaridade de Sorensen. c: número de espécies comuns nas duas comunidades. S1: número de espécies da comunidade A. S2: número de espécies da comunidade B.

Em seguida, foi calculada a dissimilaridade (*D*) através da equação:

$$(3) D = 1 - ISS$$

Para os valores de dissimilaridade, quanto mais próximos de 1, maior será a diferença na composição de espécies entre os habitats.

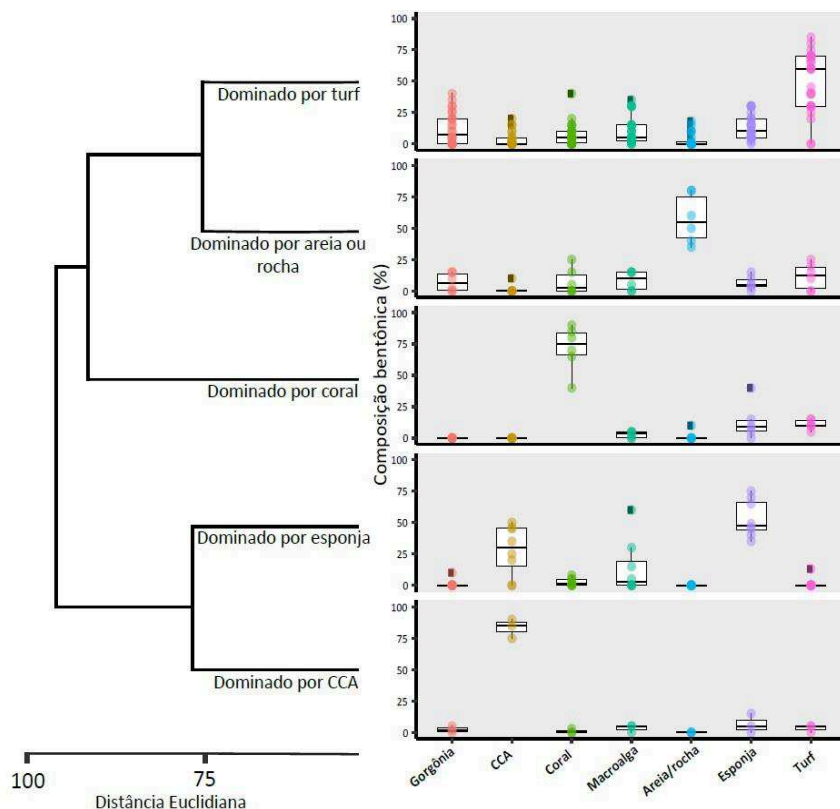
Os valores de dissimilaridade foram utilizados para a construção de uma análise de agrupamento.

Todas as análises estatísticas e gráficos foram realizados utilizando plataforma R (R Core Team 2016). Devido ao número de amostras ser diferente para cada microhabitat, foi realizada uma randomização dos dados pelo mínimo esforço de amostragem (seis vídeos), replicados por mil vezes. Ao final, foi realizada uma média de todas as reamostragens e aplicada em um *boxplot*. Um dos microhabitats foi excluído desta análise devido a possibilidade de interferência do baixo número amostral (três amostras).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Cobertura Bentônica

A análise de agrupamento realizada resultou em cinco grandes grupos distintos: microhabitat dominado por turf (matriz de alga epilítica), microhabitat dominado por alga calcária (CCA), microhabitat dominado por coral, microhabitat dominado por areia e microhabitat dominado por esponja. Um microhabitat é considerado dominado por algum grupo quando indivíduos desse grupo compõe a maior porcentagem de cobertura da amostra (**Figura 3**). O microhabitat turf é composto principalmente pelo elemento turf (matriz de alga epilítica) (mediana = 60%), o microhabitat areia ou rocha apresenta majoritariamente areia ou rocha (55%), o microhabitat coral apresenta uma mediana de 75% de cobertura por corais, o microhabitat esponja apresenta uma mediana de 50% de cobertura por esponjas e o microhabitat alga calcária (CCA) apresenta uma mediana de 85% de cobertura por alga calcária.



**Figura 3:** A esquerda, análise de agrupamento com distância euclidiana, indicando a divisão dos microhabitats de acordo com a porcentagem de composição bentônica. A direita, gráfico *boxplot* e dispersão de pontos (círculos representam amostras) indicando a porcentagem de cobertura dos grupos bentônicos (eixo y) em cada microhabitat. O eixo X representa os grupos bentônicos.

## 4.2 Pressão alimentar dos peixes sobre o bentos

Em 490 minutos de vídeos analisados foram registradas 2080 mordidas no substrato, desempenhadas por 28 espécies no total, sendo 63% no microhabitat turf, 9% no microhabitat areia/rocha, 5% no microhabitat coral, 12% no microhabitat esponja e 11% no microhabitat CCA. No microhabitat turf a pressão alimentar média foi de 4,9 ( $\pm 1,3$ ), no microhabitat areia/rocha de 1,73 ( $\pm 0,8$ ), no microhabitat coral de

0,24 ( $\pm 0,02$ ), no microhabitat esponja de 1,73 ( $\pm 0,6$ ) e no microhabitat CCA de 18,8 ( $\pm 16,8$ ) (**Figura 4**).

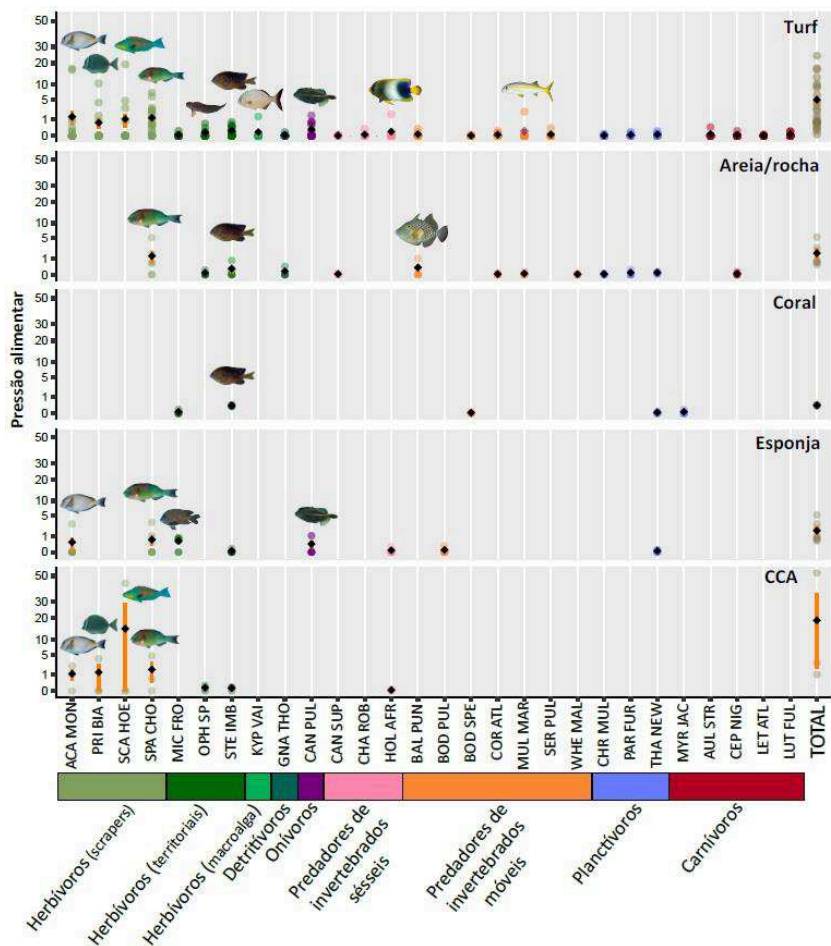
No microhabitat turf, foram registradas 25 espécies (representando todos os grupos funcionais encontrados nesse trabalho) investindo sobre o substrato. Os herbívoros raspadores fizeram a maior pressão alimentar nesse microhabitat, sendo representados pelas espécies *Acanthurus monroviae* (média  $\pm$  EP;  $1,4 \pm 0,8$ ), *Prionurus biafraensis* ( $0,6 \pm 0,4$ ), *Scarus hoeferi* ( $1 \pm 0,7$ ) e *Sparisoma choati* ( $1,2 \pm 0,3$ ). Os herbívoros territoriais também foram importantes, principalmente a espécie *Stegastes imbricatus* ( $0,1 \pm 0,03$ ). Dentro do grupo dos onívoros, a espécie *Cantherhines pullus* apresentou a maior pressão alimentar ( $0,2 \pm 0,07$ ). Dentre os predadores de invertebrados sésseis e móveis, as espécies que apresentaram maior valor de pressão alimentar foram respectivamente *Holacanthus africanus* ( $0,06 \pm 0,06$ ) e *Mulloidichthys martinicus* ( $0,08 \pm 0,08$ ).

No microhabitat areia/rocha foram registradas 13 espécies investindo no substrato, novamente com grande representatividade de herbívoros, como o herbívoro raspador *S. choati* ( $1,3 \pm 0,8$ ) e o herbívoro territorial *S. imbricatus* ( $0,13 \pm 0,12$ ). Dentre os cinco microhabitats, é onde o predador de invertebrados móveis *Balistes punctatus* ( $0,19 \pm 0,16$ ) apresenta maior pressão alimentar.

No microhabitat coral apenas cinco espécies foram vistas investindo sobre o substrato. Entre elas, a que apresentou maior valor de pressão alimentar foi o herbívoro territorial *S. imbricatus* ( $0,22 \pm 0,01$ ).

No microhabitat esponja oito espécies foram registradas se alimentando. Dentre elas, se destacam os herbívoros raspadores *A. monroviae* ( $0,37 \pm 0,37$ ) e *S. choati* ( $0,6 \pm 0,4$ ) e o herbívoro territorial *Microspathodon frontatus* ( $0,5 \pm 0,1$ ).

No microhabitat CCA sete espécies foram vistas mordendo o substrato, com predominância dos herbívoros raspadores *A. monroviae* ( $1,1 \pm 0,7$ ), *P. biafraensis* ( $1,3 \pm 1,3$ ), *S. hoeferi* ( $14,6 \pm 14,6$ ) e *S. choati* ( $1,7 \pm 1,4$ ).



**Figura 4:** Gráfico de dispersão de pontos indicando a pressão alimentar (PA) exercida por diferentes espécies de peixes e seus respectivos grupos funcionais sobre a comunidade bentônica nos cinco microhabitats. Eixo Y: pressão alimentar; Eixo X: espécies de peixes. Círculos representam amostras, losangos representam a média da pressão alimentar no microhabitat e barras laranjas representam o erro padrão. Espécies com média maior que 0,5 estão representadas por figuras. Os nomes científicos das espécies podem ser encontrados na lista de abreviaturas e siglas.



### 4.3 Interações agonísticas

Em todas as filmagens foram registradas no total 26 espécies interagindo, das quais 17 realizaram interações agonísticas no microhabitat turf, 11 espécies no microhabitat areia/rocha, 7 espécies no microhabitat esponja, 12 espécies no microhabitat coral e 4 espécies no microhabitat CCA.

Das 328 interações registradas, 138 ocorreram no microhabitat turf (42%), 48 no microhabitat areia/rocha (15%), 78 no microhabitat coral (24%), 50 no microhabitat esponja (15%) e 14 no microhabitat CCA (4%). A estrutura das interações agonísticas variou entre os cinco microhabitats (**Figura 5**).

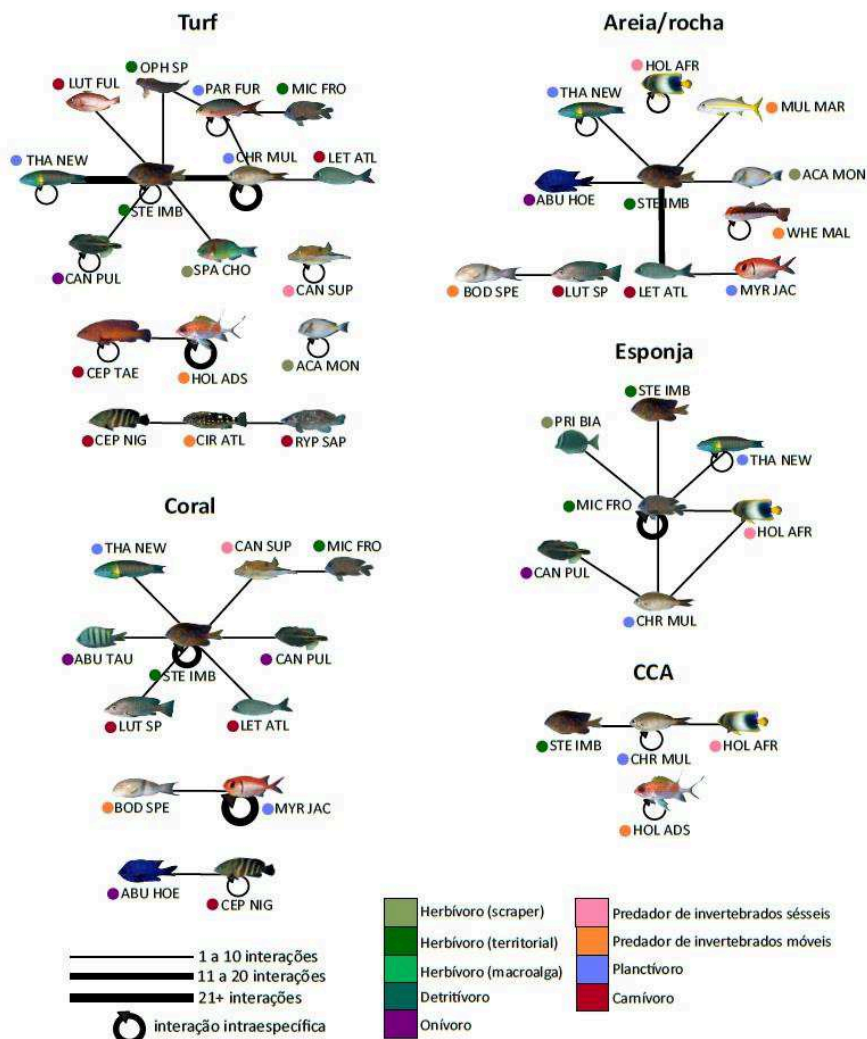
O microhabitat turf foi o local com maior número de espécies interagindo, sendo que a espécie que mais realizou interações agonísticas foi o planctívoro *Chromis multilineata*. Das 37 interações realizadas por essa espécie, 20 foram intraespecíficas. O herbívoro territorial *S. imbricatus* realizou 34 interações. Dessas interações, 11 foram intraespecíficas e 23 foram com outras seis espécies diferentes. O predador de invertebrados móveis *Holocentrus adscensionis* realizou 13 interações, sendo 12 intraespecíficas.

No microhabitat areia/rocha, *S. imbricatus* foi a espécie central e apresentou 15 interações com cinco espécies diferentes.

No microhabitat coral, a espécie com maior número de interações foi o planctívoro *Myripristis jacobus*, apresentando 36 interações, das quais 34 foram intraespecíficas. O herbívoro territorial *S. imbricatus* apresentou 26 interações, 18 intraespecíficas e o restante com outras 6 espécies diferentes.

No microhabitat esponja a espécie que mais interagiu foi o herbívoro territorial *M. frontatus*, com 30 interações. Dentre elas, 18 foram intraespecíficas e o restante com outras cinco espécies diferentes.

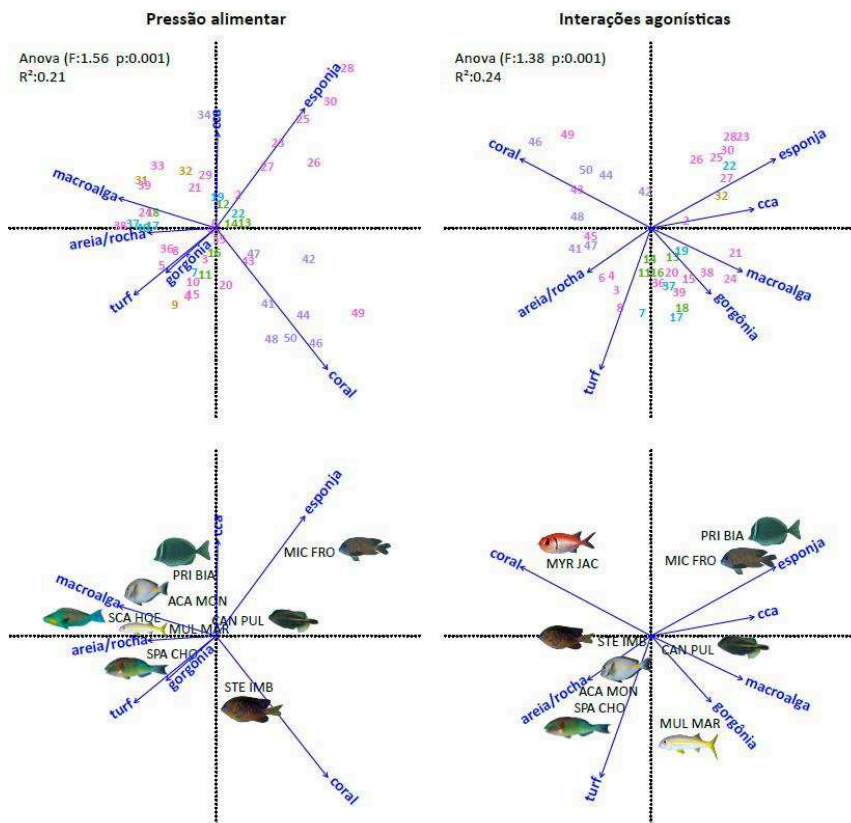
No microhabitat CCA, a espécie com maior número de interações foi o predador de invertebrados móveis *H. adscensionis*, apresentando oito interações, todas intraespecíficas. *C. multilíneata* apresentou quatro interações agonísticas, duas intraespecíficas, e as outras com duas outras espécies.



**Figura 5:** Redes de interações agonísticas dos cinco microhabitats. As cores indicam os grupos funcionais, e a espessura das linhas a intensidade das interações. Os nomes científicos das espécies podem ser encontrados na lista de abreviaturas e siglas.

#### 4.4 Influência do habitat nas interações alimentares e agonísticas

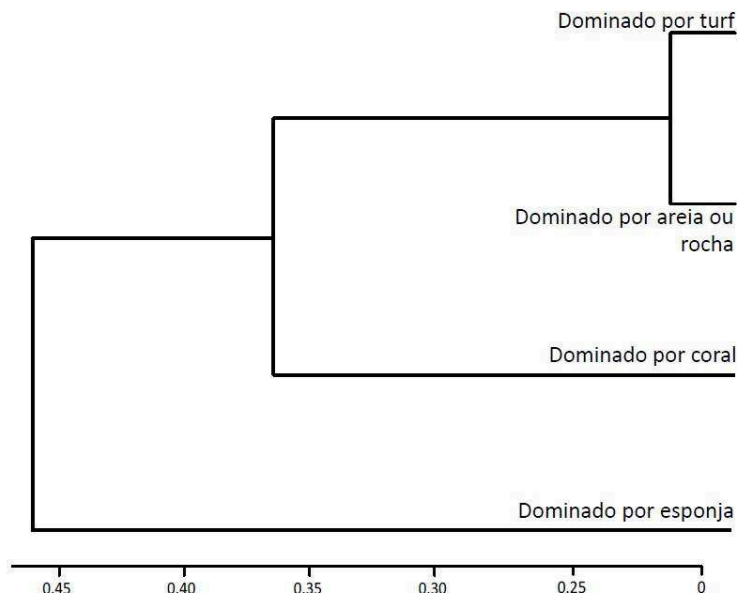
A análise de correspondência canônica (**Figura 6**) mostrou que a composição bentônica explica aproximadamente 21% da pressão alimentar e 24% das interações agonísticas realizadas pelos peixes na Ilha de Príncipe.



**Figura 6:** Análise de correspondência canônica entre a comunidade bentônica e as interações realizadas pelos peixes (pressão alimentar e agonísticas). Números indicam amostras e cores indicam os microhabitats (Rosa - turf, Azul - areia/rocha, Verde - coral, Roxo - esponja, Amarelo - alga calcária). Os nomes científicos das espécies podem ser encontrados na lista de abreviaturas e siglas.

## 4.5 Diversidade de espécies

O microhabitat turf apresentou 25% de dissimilaridade com o microhabitat areia, 41% com o microhabitat esponja e 35% com o microhabitat coral. O microhabitat coral apresentou 37% de dissimilaridade com o microhabitat areia, e 40% com o microhabitat esponja. O microhabitat areia e esponja apresentaram uma dissimilaridade de 29%. Essas relações podem ser melhor visualizadas na análise de agrupamento gerada a partir dos valores de dissimilaridade obtidos (Figura 7).



**Figura 7:** Análise de agrupamento gerada a partir dos valores de dissimilaridade apresentados.

## 4.6 Média das mil reamostragens

A partir da média das mil reamostragens (Apêndice A) pode se observar que não houve diferença das médias originais obtidas. Foram observados os mesmos padrões apresentados para interações alimentares, agonísticas e diversidade de espécies.

## 5 DISCUSSÃO

Esse foi o primeiro estudo a avaliar as relações entre a comunidade bentônica e de peixes recifais na Ilha de Príncipe. Sendo esta ilha parte de uma Reserva da Biosfera declarada pela UNESCO em 2012, possui alto grau de endemismo de espécies e, se comparada com outras ilhas oceânicas, alta riqueza de espécies (Hachich et al. 2015). Apesar de ser considerada um local importante para a conservação (Roberts et al. 2002), existem lacunas no conhecimento relacionado a sua comunidade recifal e sua ecologia.

Em ambientes recifais, os peixes estão envolvidos em diversas interações biológicas importantes, as quais podem alterar a distribuição, abundância e diversidade de espécies nas comunidades (Stachowicz 2001). Um exemplo são as interações tróficas entre os peixes e o bentos. Diversos organismos do bentos são importantes recursos alimentares utilizados pelos peixes, o que reflete diretamente na própria estrutura da comunidade. Apesar da importância de interações em moldar comunidades recifais, pouco se conhece sobre sua dinâmica em ilhas oceânicas. Nesse estudo, pode ser observada uma influência da composição bentônica nas interações tróficas, agonísticas, e diversidade de espécies nessa ilha.

### 5.1 Pressão alimentar dos peixes sobre o bentos

No **microhabitat turf**, o qual apresentou a maior quantidade de mordidas, a maior parte da pressão alimentar exercida foi realizada por herbívoros, padrão que se repete em outros microhabitats. Em ecossistemas marinhos, a herbivoria é reconhecida como um processo fundamental que afeta a estrutura e funcionamento de recifes de coral, recifes rochosos e florestas de kelp (e.g. Sala and Bouderesque 1997, Mumby 2006, Carter et al. 2007, Poore et al. 2012). A pressão alimentar foi principalmente exercida pelo grupo trófico dos herbívoros raspadores. Esse grupo funcional é conhecido por ingerir uma elevada biomassa de detritos e matéria orgânica presente no turf e nas macroalgas das quais se alimentam (Choat et al. 2004). Isso ocorre possivelmente devido esses animais dependerem de detritos ricos em proteínas para atingir suas necessidades nutricionais (Crossman et al. 2005; Ferreira & Gonçalves 2006), pois normalmente exibem pouca habilidade de digerir carboidratos presentes nas algas (Choat & Clements 1998). Herbívoros territoriais, como *S. imbricatus*, também exibem valores expressivos de pressão alimentar no microhabitat turf

(Figura 4). Peixes do gênero *Stegastes* são conhecidos por seu comportamento territorial e possuem uma íntima associação com o substrato (Allen 1991, Longo et al. 2015). Esse grupo se alimenta de algas que cultivam em seu território defendido, possuindo um papel crítico na estrutura de comunidades bentônicas através de mecanismos como a retirada de organismos “indesejáveis” e de corais para o crescimento de algas (Ceccarelli et al. 2001).

A matriz de algas epilíticas (turf) compreende uma matriz complexa composta por algas, detritos, sedimentos e invertebrados, além de possuir participação importante na cadeia de detritos com alto valor nutricional (Wilson et al. 2003). Em consequência, é considerada a principal fonte de alimento de muitos herbívoros e detritívoros (Ferreira & Gonçalves 2006; Bonaldo & Bellwood 2008). Esse elemento corresponde de 30 a 80% da cobertura total em recifes (Klumpp et al. 1988; Goatley & Bellwood 2011) e sua importância para a alimentação de peixes recifais é relativamente bem documentada (Wilson 2004; Fox & Bellwood 2007; Bonaldo & Bellwood 2011).

Apesar do destaque dos herbívoros, todos os outros grupos funcionais (onívoros, predadores de invertebrados móveis, predadores de invertebrados sésseis, planctívoros e carnívoros) também se alimentaram no microhabitat dominado por turf. Isso pode ser explicado pela diversidade de elementos que compõem o turf, anteriormente citados. Além disso, a criptofauna de invertebrados que habitam o turf é possivelmente provedora de um recurso alimentar importante para os níveis tróficos superiores (Klumpp et al. 1988; Carleton & McKinnon 2007; Enochs & Manzello 2012) como por exemplo, microcrustáceos para os predadores de invertebrados móveis.

As espécies que obtiveram maior pressão alimentar no **microhabitat areia/rocha**, que foram herbívoros e predadores de invertebrados móveis, não morderam nos elementos predominantes areia ou rocha, e sim no turf disponível. A menor intensidade de peixes se alimentando nesse microhabitat possivelmente se deve à menor disponibilidade de alimentos neste local, dominado por um substrato inorgânico.

Apesar de fortemente relacionados com os recifes de coral, poucos peixes são capazes de se alimentar de corais vivos (coralívoros) devido a sua alta especificidade (Bellwood & Hughes 2001; Francini-Filho et al. 2010). Esses peixes mostram uma preferência por presas específicas e consomem apenas um subconjunto dos corais disponíveis na natureza (Cole et al. 2008). Isso possivelmente justifica a baixa

pressão alimentar encontrada nesse trabalho no **microhabitat coral**. Além disso, como esse habitat tem uma porcentagem de cobertura alta de coral, relacionada ao hidrodinamismo ameno adequado para o crescimento desses (Friedlander et al. 2003), pode ocorrer uma competição por espaço com outros organismos que poderiam ser potenciais alimentos para os peixes. Ademais, dos indivíduos que se alimentaram nesse microhabitat, a maioria foi vista investindo no turf disponível, o que confirma uma baixa preferência dos peixes pelo elemento coral.

No **microhabitat esponja**, as duas espécies que tiveram pressão alimentar mais alta foram os herbívoros *S. choati* e *M. frontatus*. Um acontecimento atípico que pode ser destacado nesse habitat é que boa parte da pressão alimentar do herbívoro territorial *M. frontatus* provém dessa espécie investindo em esponjas. A explicação para isso pode estar na existência de uma fina camada de turf acima das esponjas, imperceptível nas filmagens (Sergio Floeter comunicação pessoal).

Apesar de o **microhabitat CCA** apresentar uma pressão alimentar elevada, isso pode ser explicado devido a um evento de mordidas (pressão) realizado por um indivíduo da espécie *S. hoefleri*, que mordeu 56 vezes no turf presente nesse habitat, embora esse componente esteja em menor porcentagem de cobertura se comparada à alga calcária. Apesar de esse valor ser atípico, ele faz parte do grupo dos herbívoros raspadores (*A. monroviae*, *P. biafraensis*, *S. hoefleri* e *S. choati*), o grupo de espécies que mais investiram no substrato, e exclusivamente no turf. A única espécie que mordeu em algas calcárias foi o herbívoro territorial *Ophioblennius* sp. Apesar da sua definição como consumidor primário, os padrões alimentares desta espécie continuam pouco conhecidos (Lastrucci 2016).

## 5.2 Interações agonísticas

É possível notar que o local com maior número de interações agonísticas é o mesmo com o maior número de interações alimentares, o **microhabitat turf (Figura 5)**. Como esse microhabitat possui grande variedade de itens alimentares (Wilson et al. 2003), pode atrair uma maior quantidade de espécies, o que dessa forma intensifica as chances de ocorrência de interações agonísticas. É notório que o herbívoro territorial *S. imbricatus* possui um papel central na conectividade das redes agonísticas. Os peixes-donzela do gênero *Stegastes* possuem uma

evidente agressividade intra e interespecífica para com outros herbívoros dentro do seu território (Lassuy 1980). Uma vez que esses peixes defendem seus “jardins” de algas de outros herbívoros, os seus territórios são altamente produtivos e possuem maior biomassa e diversidade de algas do que as áreas adjacentes (Sammarco 1983; Hinds & Ballantine 1987). Além da produtividade primária, há maior diversidade de invertebrados em seus territórios (Ceccarelli et al. 2001). Dessa forma, lhes é atribuído o papel de “espécie chave” nas comunidades recifais (Hixon & Brostoff, 1983). Tanto o comportamento agressivo dessa espécie quanto a possível maior procura de outros herbívoros pelo território de maior qualidade são fatores que podem explicar a grande quantidade de interações agonísticas observada.

A espécie *C. multilineata* realizou o maior número de perseguições agonísticas no microhabitat turf. Apesar de ser uma espécie planctívora e, por consequência, não se alimentar no substrato, esse elevado número de interações agonísticas pode ser explicada pelos seus hábitos reprodutivos, que são intimamente associados com o bentos. Isso ocorre pela presença de cuidado parental do macho com os ovos, que são demersais e se aderem ao substrato (Breder & Rosen 1966). Outra espécie que realizou grande quantidade de interações intraespecíficas, *H. adscensionis*, normalmente habita tocas e fendas (Greenfield 1981). A baixa disponibilidade desse recurso nesse microhabitat pode ter levado a essa quantidade de interações agonísticas.

Nos **microhabitats areia/rocha e coral** novamente a espécie *S. imbricatus* toma o papel central na rede de interações agonísticas. Como esses habitats são dominados por areia/rocha e corais, as interações podem ter ocorrido como objeto de defesa das poucas porções do substrato com alimento disponível para espécies que se alimentam de outros itens, e não desses itens predominantes no substrato. Como a pressão alimentar foi geralmente baixa nesses habitats, uma causa possível para o agonismo observado é a existência de competição por locais de refúgio e não pelo recurso alimentar (Bonin et al. 2015). As interações intraespecíficas realizadas pela espécie *M. jacobus* possivelmente devem-se a preferência dessa espécie por locais com mais tocas. Uma possível escolha desses animais pelo microhabitat coral pode ter sido causa de uma maior abundância, e consequentemente maior quantidade de interações.

A espécie central no **microhabitat esponja** foi *M. frontatus*. Este herbívoro territorial é um consumidor não seletivo, ou seja,



consome algas no seu território na proporção em que elas ocorrem (Montgomery 1980). Porém, essa espécie apresenta um comportamento territorial-agressivo semelhante ao dos peixes do gênero *Stegastes*, citados anteriormente, o que explica sua centralidade na rede de interações nesse habitat.

O microhabitat CCA apresentou uma rede agonística simples, com apenas 3 espécies. As espécies que mais se alimentam nesse habitat, os herbívoros raspadores, não são territoriais. Possivelmente por essa razão não se encontram na rede. Além disso, a espécie que mais interagiu e realizou apenas interações intraespecíficas, *H. adscensionis*, também teve esse comportamento no habitat turf. A possível razão para isso, como já citado, pode ser a baixa disponibilidade de tocas e a disputa por elas.

### **5.3 Influência do habitat nas interações alimentares e agonísticas**

A análise de correspondência canônica revelou que a comunidade bentônica, apesar de exercer influência, não parece ser o principal fator influenciando a estrutura das interações tróficas e agonísticas dos peixes sobre o bentos. A combinação de diversos fatores pode causar essa influência como, por exemplo, a abundância e biomassa de determinadas espécies (Nunes 2016). Fatores abióticos também podem intervir na estrutura das interações, como por exemplo a temperatura da água, exposição a ondas, complexidade topográfica e profundidade (Floeter et al. 2007, Longo et al. 2015). Por exemplo, já foi constatado que uma maior temperatura da água faz com que algumas espécies de peixes exerçam maior quantidade de mordidas (Mendes et al. 2009, Lastrucci 2016).

Também é possível visualizar que as espécies que apresentaram maior valor de pressão alimentar correspondem às espécies que mais realizaram interações agonísticas, com exceção de *M. martinicus* e *S. hoefleri*, o que pode indicar uma relação do comportamento agonístico com o alimentar.

### **5.4 Diversidade de espécies**

Os peixes e outros organismos bentônicos ocupam áreas específicas do recife (e.g. McGehee 1994; Fulton et al. 2001) e diversas pesquisas relacionam a influência da comunidade bentônica na comunidade de peixes (e.g. Bell & Galzin 1984, Ferreira et al. 2001).

Levando isso em consideração, na análise de agrupamento (Figura 7) pode-se observar que a similaridade na composição de espécies nos diferentes habitats segue o padrão observado para a porcentagem da cobertura bentônica, apresentados anteriormente (Figura 3). Os microhabitats dominados por turf e por areia/rocha são os que apresentam menor dissimilaridade entre eles, ou seja, possuem maior quantidade de espécies semelhantes; e o par de microhabitats com a composição de espécies mais diferente é o dominado por turf e dominado por esponja. Portanto, é possível sugerir que a composição bentônica pode possuir influência na diversidade de espécies presentes no local estudado.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Padrões na estrutura da comunidade são fortemente influenciados pela relação de suas populações com componentes bióticos e abióticos (Floeter et al. 2007). A comunidade bentônica pode influenciar diretamente a composição da comunidade recifal, devido a disponibilidade de abrigo (Beukers & Jones 1997) e recursos alimentares. Nesse trabalho, apesar de apresentar certa influência, a composição bentônica parece não ser o único fator influenciando nas interações tróficas e agonísticas. Uma composição de outros fatores, como abundância de indivíduos, comportamentos territoriais e hábito de forrageio também podem ter influência nessas interações (Nunes 2016). Além disso, fatores abióticos também podem ter um papel importante moldando a estrutura das interações, como por exemplo a temperatura da água, exposição a ondas, complexidade topográfica e profundidade (Floeter et al. 2007, Longo et al. 2015). Além de sua influência nas interações, foi observado que a composição bentônica parece ser também um dos fatores influentes na presença e na diversidade de espécies nos diferentes microhabitats.

Este estudo foi importante para investigar a relação da comunidade bentônica com características da comunidade de peixes recifais e ilhas oceânicas, e demonstrou como as interações biológicas que os peixes realizam podem ser dependentes das características estruturais da comunidade bentônica. Tudo isso em um local de grande importância para trabalhos de pesquisa científica, experimentação e demonstração de enfoques para conservação e desenvolvimento sustentável.

## 7 REFERÊNCIAS

- Allen GR (1991) Damselfishes of the World. Mergus Publishers, Melle
- Bell JD, Galzin R (1984) Influence of live coral cover on coral-reef fish communities. *Mar Ecol Progr Ser* 15:265–274
- Bellwood DR, Hughes TP (2001) Regional scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science* 292:1532–1534
- Bellwood DR, Hughes TP, Folker C, Nyström M (2004) Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429:827–833
- Bergman DA, Moore PA (2003) Field observations of intraspecific agonistic behavior of two crayfish species, *Orconectes rusticus* and *Orconectes virilis*, in different habitats. *The Biol Bull* 205(1):26–35
- Beukers JS, Jones GP (1997) Habitat complexity modifies the impact of piscivores on a coral reef fish population. *Oecologia* 114:50–59
- Bonaldo RM, Bellwood DR (2008) Size-dependent variation in the functional role of the parrotfish *Scarus rivulatus* on the Great Barrier Reef, Australia. *Mar Ecol Prog Ser* 360:237–244
- Bonaldo RM, Bellwood DR (2011) Spatial variation in the effects of grazing on epilithic algal turfs on the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs* 30:381–390
- Bonin MC, Boström-Einarsson L, Munday PL, Jones GP (2015) The Prevalence and Importance of Competition Among Coral Reef Fishes. *Annu. Rev. Ecol Evol Syst* 46(1):169–190
- Breder CM, Rosen DE (1966) Modes of reproduction in fishes. T.F.H Publications, Neptune City

- Brown BL, Lawson RL (2010) Habitat heterogeneity and activity of an omnivorous ecosystem engineer control stream community dynamics. *Ecology* 91:1799–1810
- Carleton JH, McKinnon AD (2007) Resident mysids: secondary production, consumption, and trophic role in a coral reef lagoon. *Mar Ecol Prog Ser* 336:89–98
- Carpenter KE, Miclat RI, Albaladejo VD, Corpuz VT (1981) The influence of substrate structure on the local abundance and diversity of Philippine reef fishes. *Proc 4th Int Coral Reef Symp* 2:497–502
- Carter SK, Van Blaricom GL, Allen BL (2007) Testing the generality of the trophic cascade paradigm for sea otters: a case study with kelp forests in northern Washington, USA. *Hydrobiologia* 579:233–249
- Ceccarelli DM, Jones GP, McCook LJ (2001) Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. *Oceanog Mar Biol Ann Rev* 39:355–389
- Choat JH, Clements KD, Robbins WD (2004) The trophic status of herbivorous fishes on coral reefs. II. Food processing modes and trophodynamics. *Mar Biol* 145:445–454
- Clements FE, Shelford VE (1939) *Bio-ecology*. John Wiley & Sons, New York
- Cole AJ, Pratchett MS, Jones GP (2008) Diversity and functional importance of coral-feeding fishes on tropical coral reefs. *Fish Fish* 9:286–307
- Coni EOC, Ferreira CM, Moura RL, Meirelles P, Kaufman L, Francini-Filho RB (2012) An evaluation of the use of branching fire-corals (*Millepora* spp.) as refuge by reef fish in the Abrolhos Bank, eastern Brazil. *Environ Biol Fish* 94:1–11

- Coull BC, Wells JBJ (1983) Refuges from Fish Predation: Experiments with Phytal Meiofauna from the New Zealand Rocky Intertidal. *Ecological Society of America* 64:1599–1609
- Crossman DJ, Choat JH, Clements KD (2005) Nutritional ecology of nominally herbivorous fishes on coral reefs. *Mar Ecol Prog Ser* 296:129–142
- Downes BJ, Lake PS, Schreiber ESG, Glaister A (1998) Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, upland stream. *Ecol Monog* 68:237–257
- Dunn D (1981) The Clownfish Sea Anemones: Stichodactylidae (Coelenterata: Actiniaria) and Other Sea Anemones Symbiotic with Pomacentrid Fishes. *Trans Am Philos Soc* 71(1):3–115
- Enochs IC, Manzello DP (2012) Species richness of motile cryptofauna across a gradient of framework erosion. *Coral Reefs* 31(3):653–661
- Ferreira CEL, Gonçalves JEA, Coutinho R (2001) Community structure of fishes and habitat complexity in a tropical rocky shore. *Environ Biol Fish* 61:353–369
- Ferreira CEL, Floeter SR, Gasparini JL, Ferreira BP, Joyeux JC (2004) Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. *J. Biogeogr* 31:1093–1106
- Ferreira CEL, Gonçalves JEA (2006) Community structure and diet of roving herbivorous reef fishes in the Abrolhos Archipelago, south-western Atlantic. *J. Fish Biol* 69:1533–1551
- Figueiredo MADO, Horta PA, Pedrini ADG, Nunes JMDC (2008) Benthic marine algae of the coral reefs of Brazil: a literature review. *Oecologia Australis* 12:258–269
- Floeter SR, Krohling W, Gasparini JL, Ferreira C, Zalmon I (2007) Reef fish community structure on coastal islands of the southeastern Brazil: the influence of exposure and benthic cover. *Environ Biol Fish* 78:147–160

- Floeter SR, Rocha LA, Robertson DR, Joyeux JC, Smith-Vaniz WF, Wirtz P, Edwards AJ, Barreiros JP, Ferreira CEL, Gasparini JL, Brito A, Falcón JM, Bowen BW, Bernardi G (2008) Atlantic reef fish biogeography and evolution. *J. Biogeogr* 35:22–47
- Fox RJ, Bellwood DR (2007) Quantifying herbivory across a coral reef depth gradient. *Mar Ecol Prog Ser* 339:49–59
- Francini-Filho RB, Ronaldo Bastos, Moura RL (2010) Predation on the toxic zoanthid *Palythoa caribaeorum* by reef fishes in the abrolhos bank, eastern Brazil. *Braz. J. Oceanogr* 58(1):77–79
- Friedlander AM, Parrish JD (1998) Habitat characteristics affecting fish assemblages on a Hawaiian coral reef. *J Exp Mar Biol Ecol* 224:1–30
- Friedlander AM, Brown EK, Jokiel PL, Smith WR, Rodgers KS (2003) Effects of habitat, wave exposure, and marine protected area status on coral reef fish assemblages in the Hawaiian archipelago. *Coral Reefs* 22: 291–305
- Froese, R., and D. Pauly. (2013). FishBase. <http://www.fishbase.org>. Acessado em Agosto de 2017
- Fulton CJ, Bellwood DR, Wainwright PC (2001) The relationship between swimming ability and habitat use in wrasses (family Labridae). *Mar Biol* 139:25–33
- Fulton CJ, Bellwood DR (2002) Patterns of foraging in labrid fishes. *Mar Ecol Progr Ser* 226:135–142
- Gerking SD (1959) The restricted movement of fish populations. *Biol Rev* 34: 221–242
- Gillespie RG (2007) Oceanic Islands: Models of diversity. In: Levin SA (ed) *Encyclopedia of Biodiversity*, pp 1–13
- Goatley CHR, Bellwood DR (2011) The roles of dimensionality, canopies and complexity in ecosystem monitoring. *PLoS One* 6:e27307

- Gratwicke B, Speight MR (2005) The relationship between fish species richness, abundance and habitat complexity in a range of shallow tropical marine habitats. *J. Fish Biol* 66:650–667
- Hachich NF, Bonsall MB, Arraut EM, Barneche DR, Lewinsohn TM, Floeter SR (2015) Island biogeography: patterns of marine shallow-water organisms in the Atlantic Ocean. *J. Biogeogr* 42: 1871–1882
- Hammer WM, Jones MS, Carleton JH, Hauri IR, Williams DMcB (1988) Zooplankton, planktivorous fish, and water currents on a windward reef face: Great Barrier Reef, Australia. *Bull Mar Sci* 42:459–479
- Hixon MA, Brostoff WN (1983) Damselfish as keystone species in reverse: Intermediate disturbance and diversity of reef algae. *Science* 220:511–513
- Klumpp DW, McKinnon AD, Mundy CN (1988) Motile cryptofauna of a coral reef - abundance, distribution and trophic potential. *Mar Ecol Prog Ser* 45:95–108
- Lassuy DR (1980) Effects of ‘farming’ behavior by *Eupomacentrus lividus* and *Hemiglyphidodon plagiometopon* on algal community structure. *Bull Mar Sci* 30:304–312
- Lastrucci NS (2016) Filogeografia e atividade alimentar do gênero *Ophioblennius* no oceano Atlântico. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina
- Longo GO, Ferreira CEL, Floeter SR (2014) Herbivory drives large-scale spatial variation in reef fish trophic interactions. *Ecol Evol* 4(23):4553–4566
- Longo GO, Morais RA, Martins CD, Mendes TC, Aued AW, Candido DV, de Oliveira JC, Nunes LT, Fontoura L, Sissini MN, Teschima MM, Silva MB, Ramlov F, Gouvea LP, Ferreira CE, Segal B, Horta PA, Floeter SR (2015) Between-habitat variation of benthic cover, reef fish assemblage and feeding pressure at the



- only atoll in South Atlantic: Rocas Atoll, NE Brazil. PLoS ONE 10(6): e0127176
- Luckhurst BE, Luckhurst K (1978) Analysis of the influence of substrate variables on coral reef communities. Mar Biol 49:317–323
- Macarthur RH, Macarthur JW (1961) On bird species diversity. Ecology 42:594–598
- McClanahan T, Karnauskas M (2011) Relationships between benthic cover, current strength, herbivory, and a fisheries closure in Glovers Reef Atoll, Belize. Coral Reefs 30(1):9–19
- McGehee MA (1994) Correspondence between assemblages of coral reef fishes and gradients of water motion, depth and substrate size off Puerto Rico. Mar Ecol Progr Ser 105:243–255
- Mendes TC, Villaçã RC, Ferreira CEL (2009) Diet and trophic plasticity of an herbivorous blenny *Scartella cristata* of subtropical rocky shores. J. Fish Biol 75: 1816–1830
- Montgomery WL (1980) The impact of non-selective grazing by the giant blue damselfish, *Microspathodon dorsalis*, on algal communities in the Gulf of California, Mexico. Bull Mar Sci 30:290–303
- Mouillot D, Villéger S, Parravicini V, Kulbicki M, Arias-González JE, Bender M, Chabanet P, Floeter SR, Friedlander A, Vigliola L, Bellwood DR (2014) Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. PNAS 111:13757- 13762
- Mumby PJ (2006) The impact of exploiting grazers (Scaridae) on the dynamics of Caribbean coral reefs. Ecol Appl 16:747–769
- Nunes LT (2016) O efeito da heterogeneidade de habitats nas interações alimentares e agonísticas da ictiofauna. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina

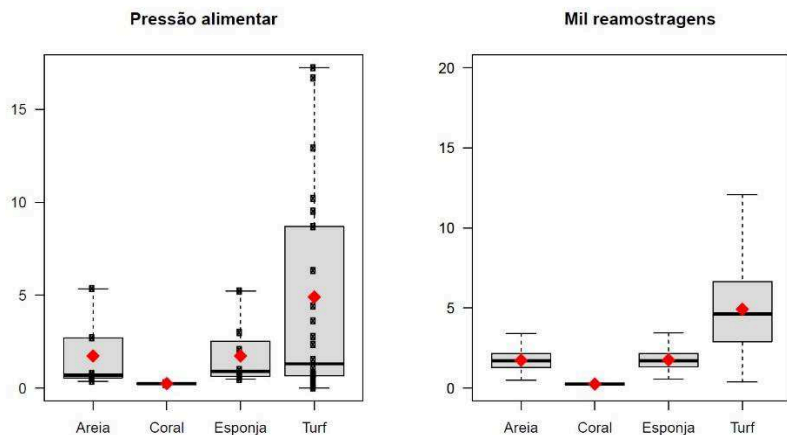
- Poore AG, Campbell AH, Coleman RA, Edgar GJ, Jormalainen V, Reynolds PL, Sotka EE, Stachowicz JJ, Taylor RB, Vanderklift MA, Duffy JE (2012) Global patterns in the impact of marine herbivores on benthic primary producers. *Ecol Lett* 15:912–922
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Randall, JE (1974) The effect of fishes on coral reefs. *Proc 2nd Int Coral Reef Symp*, 159–166
- Ricklefs RE (1987) Community diversity: relative roles of local and regional process. *Science* 235: 167–171
- Ricklefs RE, Relyea R (2016) *A Economia da Natureza*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro
- Roberts CM, Ormond RFG (1987) Habitat complexity and coral reef fish diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Mar Ecol Prog Ser* 41:1–8
- Roberts CM, Mclean JC, Veron JEN, Hawkins JP, Allen, GR, Mcallister DE, Mittermeier CG, Schueler FW, Spalding M, Wells F, Vynne C, Werner TB (2002) Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* 295:1280–1284
- Rocha CFD, Bergallo HG, Van Sluys M, Alves MAS (2006) *Biologia da Conservação: Essências*. Rima Editora, São Carlos
- Rominger AJ, Goodman KR, Lim JY, Armstrong EE, Becking LE, Bennett GM, Brewer M S, Cotoras DD, Ewing CP, Harte J, Martinez ND, O'Grady PM, Percy DM, Price DK, Roderick GK, Shaw KL, Valdovinos FS, Gruner DS, Gillespie RG (2016) Community assembly on isolated islands: macroecology meets evolution. *Glob Ecol Biogeogr* 25: 769–780

- Sabater MG, Tofaeono SP (2007) Scale and benthic composition effects on biomass and trophic group distribution of reef fishes in American Samoa. *Pac Sci* 61:502–520
- Sala E, Boudouresque C (1997) The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community. I. Algal communities. *J. Exp Mar Biol Ecol* 212:25–44
- Sammarco PW (1983) Effects of fish grazing and damselfish territoriality on a coral reef algae. I. Algal community structure. *Mar Ecol Progr Ser* 13: 1–14
- Shmida A, Wilson M (1985) Biological Determinants of Species Diversity. *J. Biogeogr* 12(1): 1–20
- Smith RS, Johnston EL, Clark GF (2014) The Role of Habitat Complexity in Community Development Is Mediated by Resource Availability. *PLoS ONE* 9, e102920
- Stachowicz JJ (2001) Mutualism, Facilitation, and the Structure of Ecological Communities. *BioScience* 51(3): 235.
- Valdés-Muñoz E, Mocheck AD (2001) Behaviour of marine fishes of the Cuban shelf. In: Claro R, Lindeman KC, Parenti LR (eds) *Ecology of the marine fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington, pp 58–72
- Wilson SK, Bellwood DR, Choat JH, Furnas MJ (2003) Detritus in the epilithic algal matrix and its use by coral reef fishes. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 41:279–309
- Wilson SK (2004) Growth, mortality and turnover rates of a small detritivorous fish. *Mar Ecol Prog Ser* 284:253–259
- Wilson, SK, Graham NAJ, Polunin NVC (2007) Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. *Mar Biol* 15:1069–1076
- Wirtz P, Ferreira CEL, Floeter SR, Fricke R, Gasparini JL, Iwamoto T, Rocha L, Sampaio CLS, Schlieven UK (2007) Coastal Fishes of

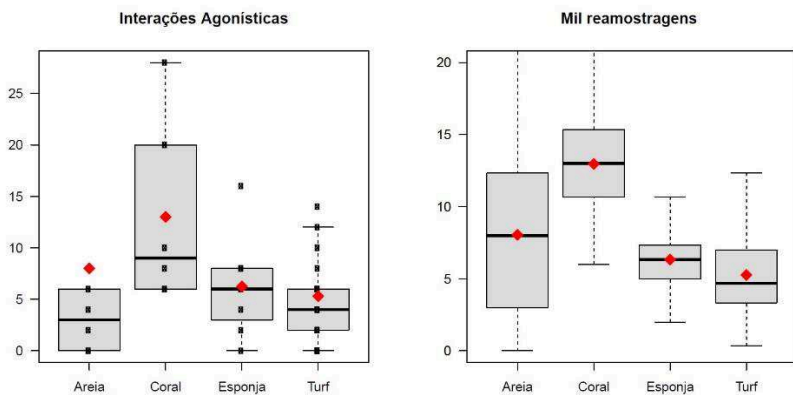
São Tomé and Príncipe islands, Gulf of Guinea (Eastern Atlantic Ocean) — an update. *Zootaxa* 1523:1-48

Wolda H (1981) Similarity Indices, Sample Size and Diversity. *Oecologia* 50:296-302

## APÊNDICE A – Média das mil reamostragens



**Figura 8:** No gráfico A, *boxplot* da pressão alimentar média nos microhabitats. Cada ponto representa a soma da pressão alimentar dos indivíduos. Os losangos representam a média e a barra pontilhada o erro padrão da média. No gráfico B, *Boxplot* gerado a partir da média das mil reamostragens.



**Figura 9:** No gráfico A, média das interações agonísticas nos microhabitats. Cada ponto representa a soma das interações agonísticas dos indivíduos. Os losangos representam a média e a barra pontilhada o erro padrão da média. No gráfico B, *Boxplot* gerado a partir da média das mil reamostragens.